



GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSAMENTO DE ÁGATAS

Rodrigo de Almeida Silva

Escola de Engenharia Civil, Faculdade Meridional, IMED, Passo Fundo, Brasil.

E-mail: <almeida.silva@ufrgs.br>.

Ivo André H. Schneider

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PPGEM

E-mail: <ivo.andre@ufrgs.br>.

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores de gemas de cor, e o Rio Grande do Sul o estado com maior produção de ágatas ametistas e citrinos. Este setor é preponderante na economia das regiões do Alto Uruguai e Planalto Médio, mas apresenta dificuldades tecnológicas, onde destacam-se o grande volume de gemas exportadas em estado bruto com baixo valor agregado e equipamentos com baixa eficiência. Um outro problema detectado é o grande volume de resíduos gerados sem tratamento e destinação adequada. O objetivo do presente trabalho é realizar um diagnóstico do beneficiamento das gemas, identificar os tipos de resíduos gerados e a importância da aplicação da gestão ambiental para este setor industrial. Pode-se concluir que, de forma geral, o setor apresenta um descaso com o meio ambiente onde poucas empresas tratam seus resíduos ainda com a visão de “fim de tubo”.

Palavras-chave: Ágata rolada, resíduo de sílica, beneficiamento de gemas.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta-se no mercado gemológico internacional como um dos maiores fornecedores de gemas de cor. O Estado do Rio Grande do Sul destaca-se pela produção de ágatas, ametistas e citrinos. No ano de 2003, as exportações gaúchas no setor foram de US\$ 47 milhões.

O arranjo produtivo local abrange cinco municípios gaúchos: Ametista do Sul (onde se produz ametista e citrino), Salto do Jacuí (produtor de ágata), Guaporé, Lajeado e Soledade onde estão os centros de comercialização e exportação (Figura 1). Há nesses municípios cerca 300 micro e pequenas empresas atuando no setor (internet, www.finep.gov.br).

A produção de artefato de pedras ornamentais está concentrada em Soledade, Lajeado e

Teutônia. Soledade é o pólo de industrialização e exportação dos produtos de ametistas e ágatas. Cerca de 95% da produção é exportada, principalmente para os EUA, Alemanha e Inglaterra. Segundo o SINDIPEDRAS/RS, existem cerca de 180 empresas (micro, pequenas, médias e grandes) que fabricam artefatos de ametistas e ágatas em Soledade, deste montante, cerca de 30 são exportadoras. O setor mantém ao redor de 1.500 empregos diretos e 3.000 indiretos, representando 31,5% do PIB da economia do município. As exportações de pedras preciosas são responsáveis por 78,9% das exportações do setor mineral do Estado (e-mail <sindipedras@sindipedras.com.br>, Jaqueline Malmam, Arranjos Produtivos de Base Mineral – Setembro/2002).



Figura 1. Mapa da localização da região de Soledade.

PROCESSAMENTO DAS ÁGATAS

O processo industrial compreende basicamente as operações de corte e/ou britagem, lavagem, desbaste (pré-formação, perfuração) tingimento, tratamento térmico e polimento.

O corte é a primeira etapa do beneficiamento das ágatas. É nesta etapa que as peças ganham sua forma definitiva. O geodo de ágata é preso em uma morsa móvel em sentido perpendicular a um disco diamantado acionado por um motor elétrico, a refrigeração do corte é feita por óleo combustível. Esta etapa apresenta grande deficiência, pois muitas vezes os equipamentos são construídos na própria empresa sem levar em consideração parâmetros técnicos construtivos. A britagem é executada em um britador de mandíbulas que tem por objetivo a fragmentação das ágatas.

A primeira lavagem é executada para remoção do óleo oriundo do corte e outros resíduos que possam prejudicar o tingimento uniforme das peças. Detergentes especiais, soluções de soda e sabão em pó são os produtos normalmente utilizados. Após um período de imersão as peças são esguichadas sob pressão e escovadas peça por peça para uma limpeza adequada.

No desbaste, para peças maiores a forma final é dada pelo desgaste com um abrasivo em uma lixa. E para peças menores, em vibradores. Também nesta fase, algumas empresas utilizam equipamentos mais sofisticados chamados copiadoras ou retificadoras.

O tingimento é executado basicamente nas cores inorgânicas, denominadas de quente, que são: verde quente (óxido de cromo), vermelho quente (óxido de ferro), azul (cianeto de potássio), preto (açúcar carbonizado). E as cores obtidas por

corantes orgânicos denominados de frio que são: verde frio (verde brilhante), rosa (rodamina B), roxo (cristal violeta), vermelho (mistura de rodamina B e laranja básico).

O polimento é a etapa final do processo de lapidação e pode ser separado em dois tipos, conforme o tamanho das peças. As peças maiores são polidas em rebolos de feltro fixos e as peças menores são polidas em vibradores com abrasivo. A sequência usual das operações é demonstrada na Figura 2.

Fluxograma do Beneficiamento de Ágatas

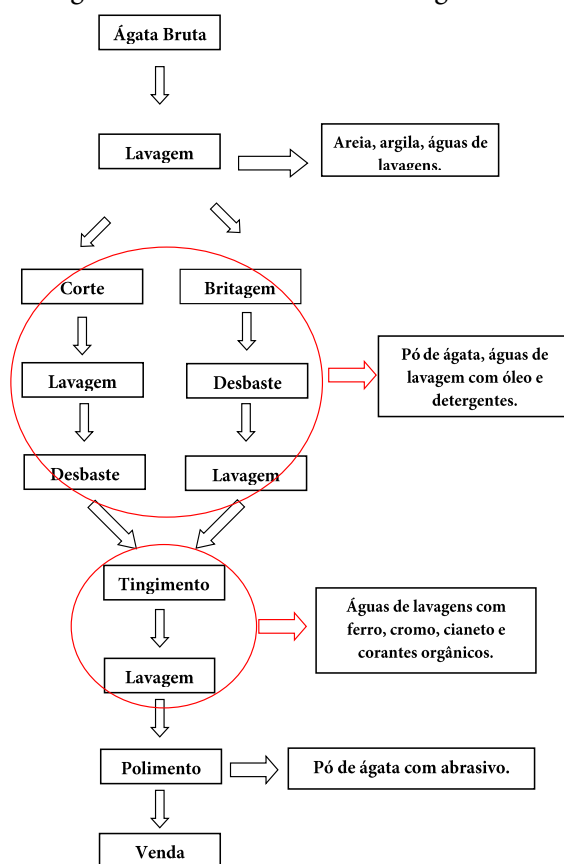


Figura 2. Fluxograma básico do beneficiamento de ágatas.

RESÍDUOS

A industrialização das gemas produz como resíduos lama de corte, íons metálicos, corantes orgânicos em solução e águas de lavagem dos diferentes processos que compreendem o desbaste, polimento, tingimento e lapidação. Numa abordagem otimista pode-se dizer que 65% do peso da ágata bruta é transformado em produto vendável. A tabela 1 relaciona os resíduos com sua origem no processo produtivo (DNPM, 1998)

Tabela 1. Relação dos processos de beneficiamento e tipo de resíduo gerado em cada um

Processo	Resíduo	Utilização dos resíduos/destinação
Seleção: As ágatas são selecionadas de acordo com o critério “exportável”;	Ágatas sem qualidade para o beneficiamento convencional;	O que não é exportado abastece a indústria local;
Britagem (opcional ao corte): Produção de fragmentos de ágatas em um britador de mandíbulas seguido por um classificador <i>trommel</i> ;	Fragmentos de ágata abaixo de 3 cm de diâmetro e pó de ágata;	Fragmentos: utilização na indústria de bijuterias. Pó de ágata: aterros de terrenos;
Corte: O corte é feito com discos diamantados, refrigerados com óleo naval durante a operação;	Lama de corte (lodo contendo pó de ágata e óleo);	Óleo: Separado do pó e reutilizado no processo. Pó de ágata: Material de preenchimento em argamassas;
Lavagem: O material é deixado imerso na solução de limpeza, escovado e enxaguado sob pressão.	Efluente alcalino contendo óleo e detergentes, pó de ágata;	Sem estudos até o momento;
Tingimento: A operação de tingimento consiste em colocar as peças de ágatas imersas em uma ou duas soluções subseqüentes, dependendo da cor;	Efluente altamente contaminado por íons (ferro, cromo e cianeto) e corantes orgânicos (verde brilhante, rodamina B, cristal violeta entre outros) ;	Tratamento e descarte em algumas empresas;
Desbaste: Para peças menores utiliza-se abrasivo na forma de pó e tambores (similar ao moinho de bolas), para peças maiores são usados abrasivos sob forma de lixa;	Pó de ágata com o abrasivo;	Pó de ágata: aterros de terrenos;
Polimento: Para as peças maiores facetadas utilizam-se rebolos de feltro com abrasivo, para peças menores utiliza-se os tambores similares aos utilizados no desbaste.	Pó de ágata, Trípoli.	Pó de ágata: aterros de terrenos.

DESTINAÇÃO E TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

Fragmentos de ágatas: Algumas indústrias se especializaram em produzir enfeites e adornos pessoais com fragmentos das ágatas que não apresentam características para confecção de artefatos.

Pó de ágata sem óleo: De forma geral, o pó de ágata é composto por aproximadamente 98% de SiO_2 finamente cominuído com 95% abaixo de 74 μm . Este material é utilizado atualmente para preenchimento em aterros de terrenos. Segundo Tramontina et al., 1997 o resíduo de pó de ágata pode ser empregado na construção civil como material de preenchimento em argamassas em uma concentração de até 1,25% da massa de cimento e areia.

Pó de ágata com óleo: Nas indústrias com estrutura organizada, a lama resultante do corte das ágatas é processada para separação do óleo. Este processo consiste em misturar água à lama e agitar, formando duas fases, uma com óleo no sobrenadante e outra afundada com o pó de ágata.

Em seguida o óleo é recuperado e retorna para o processo e o pó de ágata é utilizado como agente abrasivo misturado ao pó de trípoli. Então o efluente é conduzido a uma caixa de separação para tratamento.

Efluentes: Os efluentes são tratados por processo físico-químico (ajuste do pH, coagulação/floculação, decantação), sendo o efluente lançado nas águas superficiais e o lodo gerado no tratamento é enviado a aterros de resíduos industriais. A Figura 3 apresenta um esquema convencional de tratamento de efluentes gerado no processo de beneficiamento das gemas.

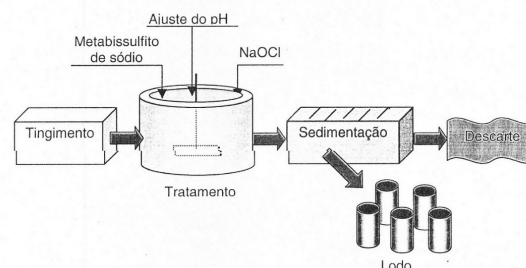


Figura 3. Processo convencional de tratamento do efluente gerado no processo de beneficiamento das gemas (Carissimi, 2001).

Entretanto, o tingimento de ágatas em cores exóticas obtidas com corantes orgânicos vem ganhando espaço, pois apresenta uma boa aceitação no mercado externo, principalmente EUA, Japão e China e os processos produtivos são mais simples. Porém os efluentes oriundos das águas de lavagens apresentam uma coloração intensa e elevada carga orgânica devido aos corantes.

Alguns métodos têm sido desenvolvidos na tentativa de reduzir os impactos causados por estes efluentes altamente corados, onde podem-se citar:

- a. Degradação Fotoquímica. Utiliza a radiação solar como fonte alternativa de energia, porém este método necessita de grandes áreas, baixa vazão e alto tempo de detenção. A adição de semi-condutores como catalisadores do processo vem sendo estudada com algum sucesso para efluentes da indústria têxtil (Daneshvar et al., 2004).
- b. Oxidação com Hipoclorito de Sódio. A descoloração com Hipoclorito de Sódio (NaClO), é a mais utilizada atualmente pelas indústrias, principalmente pela facilidade de aplicação e baixo custo. No entanto, há o risco de que durante a oxidação dos compostos corados ocorra à formação de moléculas de organoclorados. Essas moléculas apresentam propriedades bioacumulativas nos tecidos vivos, alterando o funcionamento celular. Fazem parte do grupo dos organoclorados os PCB's e DDT's, dioxinas e furanos, que são altamente tóxicos (Carissimi et al., 2002).
- c. Processo Oxidativos Avançados: Os processos oxidativos avançados (POA's) baseiam-se na geração do radical hidroxila (OH), espécie com elevado potencial de oxidação. Esse processo possui alta eficiência na oxidação de compostos orgânicos complexos produzindo moléculas mais simples, mais susceptíveis a biodegradabilidade, ou em alguns casos, levando a total mineralização restando apenas CO_2 e H_2O . A reação de Fenton pertence aos processos oxidativos avançados e foi utilizada para tratar o efluente da indústria de ágatas por Carissimi et al., (2006) apresentando bons resultados na descontaminação.

Contudo, atualmente a situação ambiental foi agravada devido à queda do câmbio, pois 95% da produção é exportada. Com o intuito de reduzir os custos de produção, as indústrias com maior porte terceirizaram alguns processos produtivos poluidores para pequenas empresas, transferindo o ônus de tratar os resíduos gerados. Estas pequenas

indústrias, geralmente informais, lançam os resíduos industriais no ambiente sem tratamento prévio, gerando um dano ambiental sem precedentes.

Entretanto, existe um projeto piloto de uma estação de tratamento que deverá remediar a situação. O SENAI, em conjunto com o Centro Tecnológico de Gemas e Jóias de Rio Grande do Sul estão trabalhando neste projeto.

No entanto, todas as ações ambientais que vem sendo executadas para remediar os danos ambientais causados pelas indústrias de beneficiamento de ágatas não estão de acordo com as tendências ambientais, pois tem-se ainda a idéia de que a solução está no fim do processo, ou seja, tratamento de "fim de tubo" e não na aplicação dos conceitos "REDUZIR, REUSAR E RECICLAR". Para que haja uma melhora substancial na diminuição dos impactos ambientais, é necessário uma avaliação em cada etapa do processo produtivo, reduzindo as perdas e aumentando a eficiência, consequentemente, proporcionando uma redução na geração dos resíduos.

ESTUDO DE CASO

INTRODUÇÃO

Este estudo foi realizado na empresa **Cario-ca Indústria e Comércio de Pedras Ltda.** A empresa atua no ramo de beneficiamento de pedras preciosas, produzindo um tipo especial de ágata denominada "ágata rolada".

As gemas utilizadas nesta indústria não são provenientes de garimpos. São retiradas dos campos aráveis (pedras de lavra) e comercializadas pelos próprios agricultores sem intermediários. Os locais de coleta estão distribuídos nas cidades de: Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Casca e Marau sendo que o transporte é realizado pela própria empresa. Cabe ainda salientar que, a retirada destas gemas das áreas agrícolas traz benefícios para os agricultores, em função da limpeza da terra e ainda não gera os danos ambientais dos garimpos tradicionais.

A capacidade atual da empresa gira em torno de 60 ton/mês de pedra ornamental bruta, com uma recuperação em torno de 15% de produto comercializável. Para executar o beneficiamento das pedras preciosas são utilizados principalmente os seguintes reagentes: ácido sulfúrico, ácido clorídrico, corantes orgânicos, sais inorgânicos, parafina e carbureto de silício entre outros.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Os geodos brutos coletados são depositados no pátio da empresa, após são cominuídos em um britador de mandíbulas para atingir o tamanho adequado. Então os fragmentos são colocados em uma bateadeira (grande moinho de bolas) que fica girando por 35 horas para que as peças sejam desbastadas. Após este processo as peças são colocadas em outro moinho de bolas, e é adicionado carbureto de silício como abrasivo. Na próxima etapa ocorre o polimento, que consiste em retirar o excesso de abrasivo através da lavagem e repetir o processo no moinho.

As peças já polidas são colocadas e uma bancada e separadas manualmente por tamanho. Depois de classificadas as peças são colocadas em uma solução de ácido sulfúrico a quente. Segundo o proprietário, esta etapa serve para permitir um tingimento mais homogêneo. Então é executado o tingimento, onde as peças ficam imersas durante três dias á quente, nas soluções características. Após a coloração as peças são lavadas, parafinadas e comercializadas.

Dos resíduos gerados nesta empresa pode-se destacar a produção de pó de ágata (45 ton/mês), efluente contendo H_2SO_4 , cromo, ferro, cianeto e corantes orgânico oriundos do processo de tingimento com volume de $2,5m^3/mês$. Esse efluente é tratado em batelada. Houve também um comentário de um funcionário que o pó de ágata foi usado como agregado miúdo em argamassa. Estas informações podem ser melhores compreendidas através da Figura 4.

O tratamento dos efluentes é feito pelo processo físico-químico, similar ao descrito por Carissimi, (2001) que utiliza o metabissulfito de sódio para redução do cromo (VI) para cromo (III) em pH 2. Então eleva-se o pH para 9,0 – 10,0 e adiciona-se hipoclorito de sódio para oxidar o cianeto de potássio. Após ajusta-se o pH para 6,5 – 7,5 e adiciona-se o sulfato de alumínio para clarificação do líquido. O líquido então é levado a um sedimentador para separação do sólido gerado. O líquido é descartado na rede pluvial e o lodo é acondicionado em tambores e enviado para aterro de resíduos perigosos.

Fluxograma do Beneficiamento de Ágatas Roladas

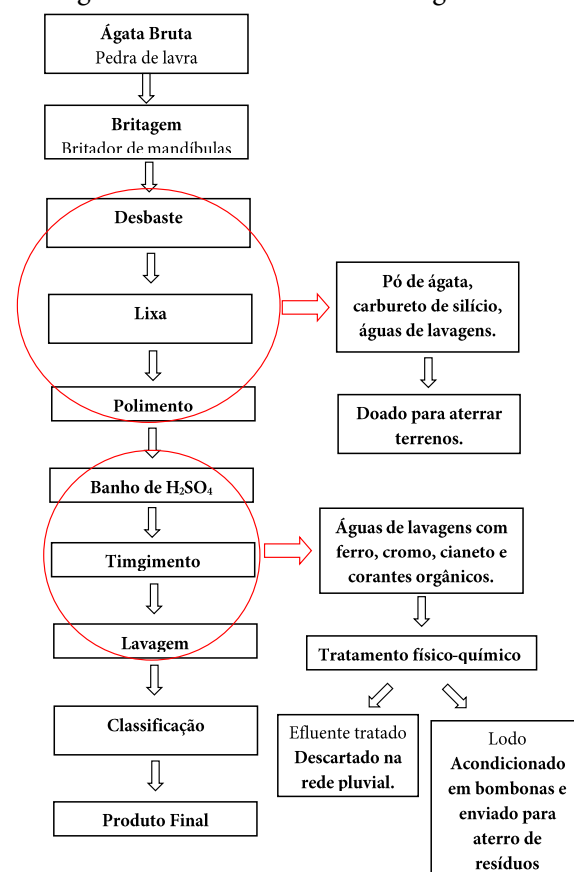


Figura 4. Fluxograma do processo de beneficiamento da ágata roladas.

Segundo o empresário, as principais dificuldades do setor são o câmbio baixo, concorrência predatória e a falta de profissionalismo. Apesar das dificuldades financeiras da empresa, percebeu-se que há uma preocupação com a prevenção de danos ambientais por parte do empresário. Também verificou-se o desejo por parte da direção da empresa de iniciar a conquista certificação ambiental para seus produtos, pois segundo ele, o mercado europeu demonstra grande interesse em produtos ecologicamente corretos.

Entretanto, apesar do interesse que a direção da empresa demonstrou em relação ao meio ambiente, o tratamento é realizado nos moldes de “fim de tubo”. Percebeu-se que há espaço para a aplicação das normas ambientais tanto da série ISO 14.000, como os conceitos de Produção Mais Limpa entre outras.

CONCLUSÕES

O setor de pedras preciosas tem grande influência no desenvolvimento econômico da região.

Devido ao grande número de empresas de pequeno porte e informais, a fiscalização ambiental fica prejudicada. De forma geral, o setor de pedras preciosas, especificamente, na região de Soledade, demonstra um descaso com o meio ambiente. O tratamento dos resíduos é executado em poucas empresas, cerca de 2%. Além disso, com a queda do dólar, em algumas empresas de grande porte houve uma terceirização dos processos produtivos poluidores, com o objetivo de reduzir os custos operacionais. As poucas empresas que tratam seus efluentes utilizam o método tradicional onde o objetivo é transferir os poluentes de uma fase dispersa para outra concentrada sem levar em conta as vantagens dos novos processos de tratamento. Contudo, algumas empresas estão percebendo a importância da preservação do meio ambiente como forma de atingirem novos mercados que preferem produtos ecologicamente corretos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa Carioca Pedras Indústria e Comércio Ltda na pessoa de Alzemar Cortes Corrêa, pela atenção e oportunidade de realizar o estudo sobre o processo de produção da ágata rolada e a Andréa Lamaison Soares Bonfante pelo auxílio neste trabalho.

Agradeço a Capes pelo auxílio financeiro que tornou possível a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, A.L., Pizzolato, T.M., Carissimi, E., Schneider, I.A.H. (2006). Decolorizing dye wastewater from the agate industry with Fenton oxidation process. *Minerals Engineering*, 19. 87–90.
- Carissimi, E., Pizzolato, T.M., Machado, M.E., Schneider, I.A., Colour removal with NaClO of dye wastewater from in agate-processing plant in Rio Grande do Sul. *Journal Mineral Processing*, 65, p. 203-211, 2002.
- Carissimi, E. (2001). *Tratamento de Efluentes do Tingimento de Ágatas por Oxidação Química*. 41f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Departamento de Engenharia Civil da UPF, Passo Fundo.
- Daneshvar, N., Salary, D., Khatagee, A. R. (2004). Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water on ZnO as an alternative catalyst to TiO₂. *Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 162. p. 317-322.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) (1998). *Ágatas do Rio Grande do Sul*. Série Difusão Tecnológica, Brasília.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM) (1974). *Perfil Analítico da ágata*. Rio de Janeiro, Boletim nº29.
- FINEP (2004). *Setor de gemas e jóias do Rio Grande do Sul recebe R\$ 1 milhão*. Disponível em: http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=322
- INSTITUTO METAS (2002). *Aglomerados: Região de Soledade – Rio Grande do Sul Gemas. Arranjos Produtivos*. Setembro.
- SINDIPEDRAS/RS. - Sindicato das Indústrias de Joalheria, Mineração Lapidiação, Beneficiamento e Transformação de Pedras Preciosas do Rio Grande do Sul. (2007, 2:41 pm). E-mail [syndipedras@syndipedras.com.br](mailto:sindipedras@syndipedras.com.br), Sent: Tuesday, May 29.
- Tramontina, L., Casagrande, L., Schneider, I. A. (1997). Caracterização e Aproveitamento do Resíduo da Serragem de Pedras Semi-Preciosas do RS. In: *Congresso Internacional de Tecnologia Metaúrgica e de Materiais - ABM*, 1997, São Paulo. Anais do 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metaúrgica e de Materiais - ABM.

Endereço de correspondência do autor:

Ivo André H. Schneider
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - PP-GEM
Centro de Tecnologia, Av. Bento Gonçalves 9500,
Caixa Postal 15021, CEP: 91501-970,
Porto Alegre, RS, Brasil.
Fone: (0xx) 51 33087104 / Fax: (0xx) 51 3308-7116